

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁷ G05D 1/02	(45) 공고일자 2001년 10월 22일 (11) 등록번호 10-0298765 (24) 등록일자 2001년 06월 04일
(21) 출원번호 10-1994-0006424 (22) 출원일자 1994년 03월 30일	(65) 공개번호 특 1994-0024447 (43) 공개일자 1994년 11월 18일
(30) 우선권주장 93-077244 1993년 04월 02일 일본(JP) (73) 특허권자 신코덴키 가부시키가이샤	
(72) 발명자 일본국 토오쿄우토 코우토우쿠 토오요 나나죠우메 2반 14고 에가와다가미	
(74) 대리인 일본국 미에젠이세시다께가하나죠 100반지신꼬덴끼가부시끼가이샤이세세이사 꾸쇼내 이주기	

설사관 : 강성규

(54) 최적경로결정장치

요약

본 발명은 공장들의 무인반송시스템에 있어서 출발점과 목표점과를 연결하여 최적의 경로를 결정하는 최적경로결정장치에 관한 것으로, 규칙적인 주행로에 대해서도 간단히 유일한 최적경로를 결정하고자 하는 목적을 가지며, 이를위해 정적그래프생성부(10)에 의해 주행로의 각 노드간의 거리 또는 이동시간에 기하여 주행 가능한 노드간을 둘어 각 마크마다 제 1의 코스트가 산출되고, 또한, 목표노드가 지시되면 각 도포텐셜계산부(11)에 의해 목표노드로부터 본 각 마크를 구성하는 각 노드의 방향에 기하여 제 2의 코스트가 산출되고, 이를 코스트는 각 마크마다 가산되고, 최적경로생성기(9)는 출발노드로부터 목표노드에 이르는 최적경로로서 각 마크의 가산코스트의 적산치가 최소로 되는 경우를 선택하는 구성을 하였다.

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

최적경로 결정장치

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명의 1실시예에서의 블럭도,

제2도는 본 발명에 관한 사다리꼴 주행로의 구성도,

제3도는 본 발명의 또 다른 사다리꼴 주행로의 구성도,

제4도는 본 발명의 1실시예에서의 코스트계산결과도,

제5도는 본 발명의 1실시예에서의 코스트계산결과도,

제6도는 본 발명에 관한 사다리꼴 주행로의 좌표등의 데이터도,

제7도는 종래의 코스트계산 및 최단경로선택결과도,

제8도는 본 발명에 관한 사다리꼴 주행로의 좌표 데이터도,

제9도는 종래 발명의 블럭도이다.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

8, 18 : 그래프생성기(가산수단) 9, 19 : 최적경로 생성기(경로생성수단)

10 : 정적그래프생성부(제1코스트 생성수단)

11 : 각도포텐셜계산부(제2코스트 생성수단)

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 공장 등의 무인반송시스템에 있어서 출발점과 목표점과를 연결하여 최적의 경로를 결정하는 최적경로결정장치에 관한 것이다.

무인반송시스템에 있어서 테이타설정이 적어도 되는 최적경로결정장치로서, 본 발명자는 먼저 제9도에 도시한 구성을 사용한 방법을 제안하였다(일본 특원평 3-141373).

제9도는 무인반송차의 구성을 도시하고 있고, 지도 데이터 메모리(16)는 주행로의 지도 데이터가 기억되어 있고, 주행로 상에 있어서 무인반송차가 정지 가능한 노드(node)의 좌표와 그 접속관계가 기억되어 있다. 또한, 무인반송 차 데이터메모리(17)에는 무인반송차의 속도 등의 데이터가 기억되어 있다.

또한 그래프생성기(18)는 이하에 표시하는 그래프 Go를 작성한다.

$$Go = (N, A, Co) \quad \text{--- ①}$$

여기서 $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ 은 지도 데이터에 기하여 모든 노드를 번호 붙임한 노드의 집합이고, m 은 노드 수이다.

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 은 임의로 인접하는 2개의 노드 n_i, n_j 를 각각 시점, 종점으로 하고, 양 노드간에 주행 가능한 경우에 양 노드를 접속한 마크 $a_k = \{n_i, n_j\}$ 를 전부 순서에 따라 번호 붙임한 마크의 집합이고, n 은 마크 수이다.

Co 는 노드간의 거리등의 코스트계산 지표에 기하여 각 마크 $a_k = \{n_i, n_j\}$ 에 있어서 계산한 코스트의 집합이다.

최적경로생성기(19)는, 도시하지 않은 제어국으로부터 이 무인반송차에 반송지시가 보내지면 부여된 반송지시로부터 출발 노드와 목표 노드를 구한다. 그리하여, 이것과 그래프생성기(18)에 있어서 구하여진 그래프 Go, 지도데이터 및 무인반송차 데이터에 기하여 적산 코스트가 최소로 되도록 최적경로를 생성한다.

여기서, 각 마크 $a_k = \{n_i, n_j\}$ 에 있어서 코스트계산의 지표로서는 (a)노드간의 거리, (b)노드간의 이동시간에 덧붙여 (c)경로의 방향성을 고려하는 것도 가능하다.

(a)의 경우 노드 i로부터 노드 j로의 마크의 코스트 B_{ij} 는 아래식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$B_{ij} = d_{ij} \quad \text{--- (1)}$$

d_{ij} 는 시점노드 i와 종점노드 j와의 직선거리(mm)이고,

$$d_{ij} = \{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2\}^{1/2} \quad \text{--- (2)}$$

로 표시된다.

여기서, x_i, y_i 는 노드 i의 X, Y좌표(mm), x_j, y_j 는 노드 j의 X, Y 좌표(mm)이다.

(b)의 경우 노드 i로부터 노드 j로의 마크의 코스트 B_{ij} 는 아래식(3)에 의해 구해진다.

$$B_{ij} = d_{ij}/v_{ij} \quad \text{--- (3)}$$

거리 d_{ij} 는 상기와 동일하게 구해지고, v_{ij} 는 노드 i로부터 노드 j로의 이동속도(m/sec)이기 때문에, B_{ij} 는 노드간의 이동시간에 대응한 량으로 된다.

(c)의 경우 노드 i로부터 노드 j로의 마크의 코스트 B_{ij} 는 아래식(4)에 의해 구해진다.

$$B_{ij} = (d_{ij}/v_{ij}) \times (1-p_{ij}) \quad \text{--- (4)}$$

거리 d_{ij} , 속도 v_{ij} 는 상기와 동일하게 구해지고, p_{ij} 는 경로의 방향성에 의해 「좋음」을 나타내는 페널티(Penalty)계수이다. 예를 들면, 노드 i로부터 노드 j로의 방향이 「안 좋은」 방향(역방향)이라면 p_{ij} 를 부(負)수로 하여 코스트를 올리고, 한편 「좋은」 방향(정방향)이라면 p_{ij} 를 정(正)수로 하여 코스트를 내리는 것이 가능하다. 계수 p_{ij} 의 절대값은 좋음의 정도에 대응하여 「0~1」의 범위에서 설정된다.

모든 마크에 대해서 적절한 페널티계수가 설정되면, 임의의 2점(출발점과 목표점)을 연결하는 경우의 코스트가 최소로 되는 경로(이후, 최단경로라 한다)는 단 하나가 구해진다.

그러나, 모든 마크에 대해서 페널티계수를 적절히 설정하기에는 페널티계수가 경로탐색에 미치는 영향을 신중히 고려하지 않으면 안되며, 대단히 번잡하다. 그런데, 페널티계수를 고려하지 않은 식(1) 또는 (3)에 의해 코스트를 계산하면, 다음과 같은 문제가 생긴다.

통상, 주행로로서는 제 2도에 도시된 사다리꼴 혹은 제 3도에 도시한 정방격자형과 같이 제법 규칙성을 가지는 경우가 대부분이다.

제 2도의 사다리꼴 주행로는 「28」의 노드에 의해 구성되어 있다. 제 6도(A)는 각 노드의 (X, Y) 좌표 데이터이다.

제 6도(b)는 이 사다리꼴 주행로에 있어서 인접 이동 가능한 모든 신(scene)에 대해서 시점 및 종점의 노드번호·방향·속도데이터를 통합한 것이다. 여기서는, 경로의 방향성을 고려되지 않고, 방향 데이터는 전부 「0」으로 되어있다.

또한, 수평방향과 수직방향에서는 이동속도가 다르기 때문에, 코스트에 있어서의 이동속도를 고려하는 (3)식으로 계산을 한다.

제 7도의 (a)는 계산결과를 각 마크의 옆에 기재한 것이다. 여기서는, 시점과 종점이 서로 역으로 되는 마크의 코스트는 동등하고, 예를들어, 노드 1·2에 관하여 마크의 코스트는,

$$B_{12} = d_{12}/v_{12} = \{(4000-1000)^2 + (0-0)^2\}^{1/2} / (1000/1000)$$

에 의해 「3000」으로 산출된다. 여기서, 속도를 「1000」으로 감산하고 있는 것은 (3)식의 단위와 맞추기 위해서이다. 다른 마크에 대해서도 동일하게 계산된다.

이 데이터에 기하여 노드 1로부터 노드 28로의 최단경로를 결정하기에는 주행하는 각 마크에 대해서의 코스트를 적산한 토탈코스트가 최소로 되도록 하는 경로를 선택하면 좋다. 그러나, 제 7도(b)에 도시한 바와 같이, 토탈코스트와 같은 8가지의 최단경로가 존재한다.

또한, 제 3도의 사다리꼴 주행로는 「100」의 노드로 구성되어 있다. 제 8도는 각 노드의 (X, Y) 좌표데이터이다.

여기서는, 노드간의 이동속도는 완전히 동일(100mm/sec)하고, 신(scene)데이터는 생략한다. 더욱이, 인접하는 노드간의 거리는 전부 1m이므로, (1) 또는 (3)식에 의해 산출되는 각 마크의 코스트는 전부 동일(1000)하게 된다.

일반적으로, 종으로 p개, 횡으로 q개의 사다리꼴 주행로에 있어서, 좌하의 노드로부터 우상의 노드로 이르는 최단 경로수는,

$$N(p, q) = {}_{p+q-2}C_{p-1} \quad \text{--- (5)}$$

에 의해 구해진다. 이에 의해 제 3도의 주행로에 있어서 노드 1로부터 노드 100으로의 최단경로를 계산하면,

[수식 1]

$$N(10, 10) = \frac{18!}{9! \cdot 9!} = 48620 \text{ 가지} \quad \text{--- (6)}$$

것의 경로가 동일조건으로서 선택되어져 버린다.

이처럼, 각 마크를 구성하는 각 노드간의 거리 또는 이동시간만에 기한 산출방법에 의하면, 본래의 좋지 않은 방향을 포함하는 경로와, 방향전환이 빈번히 필요로 되는 경로등이 모두 동일조건으로 선택되어 버린다. 따라서, 진정한 최적경로를 결정하는 것이 곤란했었다.

본 발명은 상술한 사정이 감안되어 이루어진 것으로, 규칙적인 주행로에 대해서도 간단히 최적경로를 결정 가능한 최적경로결정장치를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명에 있어서는 주행로상에 점재(占在)하는 복수의 노드에 대해, 인접하는 주행가능한 제 1 및 제 2의 노드를 루은 마크의 집합에 대하여, 상기 각 노드간의 거리 또는 이동시간에 기하여 각 마크마다, 제 1의 코스트를 산출하는 제 1의 코스트산출 수단과, 목표노드가 지시되면 목표노드로부터 상기 제 1노드의 방향과 소정방향과의 각도 차와 목표노드로부터 본 상기 제 2노드의 방향과 해당 소정방향과의 각도 차를 산출하고, 양 각도 차의 차이에 기하여 각 마크마다 제 2의 코스트를 산출하는 제 2의 코스트산출수단과, 상기 제 1 및 제 2의 코스트산출 수단에 의한 코스트산출결과를 상기 각 마크마다 가산하는 가산수단과, 상기 가산수단에 의해 산출된 가산 코스트에 기하여 출발노드로부터 목표노드에 이르는 최적경로로서 각 마크의 가산코스트의 적산치가 최소로 되는 경우를 선택하는 경로생성수단과를 구비하는 것을 특징으로 한다.

상기 구성에 있어서, 제 1의 코스트산출수단에 의해 각 노드간의 거리 또는 이동시간에 기하여 각 마크마다 제 1의 코스트가 산출된다. 또한, 목표노드가 지시되면 제 2의 코스트산출수단에 의해 목표노드로부터 본 제 1노드의 방향과 소정방향과의 각도 차와, 목표노드로부터 본 제 2노드의 방향과 해당 소정방향과의 각도 차를 산출하고, 양 각도 차의 차이에 기하여 각 마크마다 제 2의 코스트가 산출된다. 그래서, 가산수단에 의해 이들의 코스트가 각 마크마다 가산된다. 경로생성수단은 출발노드로부터 목표노드에 이르는 최적경로로서 각 마크의 가산 코스트의 적산치가 최소로 되는 경우를 선택한다.

[실시예]

이하, 도면을 참조하여 본 발명의 1실시예에 대하여 설명한다.

제 1도는 본 실시예에 관한 최적경로결정장치의 블럭도이고, 제 9도와 공통하는 부분에 대해서는 동일부호를 붙여 그 설명을 생략한다.

도면에 있어서, 그래프생성기(8)는 아래에 기재한 그래프 G를 작성한다.

$$G = (N, A, C) \quad \text{--- (2)}$$

여기서, $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ 및 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 는 상기한 그래프 G_0 의 각 요소와 동일하고, 설명을 생략한다.

C는 상기한 노드간의 거리 또는 이동시간에 더해져 아래에 설명하는 각도포텐셜을 가미한 코스트계산의 지표에 기하여 각 마크 $ak = \{n_i, n_j\}$ 에 대하여 계산한 코스트의 집합이다.

정적 그래프 생성부(10)는 지도데이터메모리(16)가 생성된 경우에 식 (1), (3) 또는 (4)에 의해 각 마크

의 코스트 B_{ij} 를 계산한다.

각도포텐셜계산부(11)는 목표노드 g 가 지시된 경우에 각 마크에 대하여 아래식 (7), (8)에 의해 각도포텐셜코스트 T_{ij} 를 산출한다.

$$T_{ij}(g) = (K/2\pi) \Delta \theta(g, i, j) \cdot B_{ij} \quad (7)$$

$$\Delta \theta(g, i, j) = \text{Mod}\{|\theta(g, j) - \theta(g, i)|, \pi\} \quad (8)$$

여기서, K 는 소정의 계수, $\theta(g, i)$ 는 노드 g 로부터 본 노드 i 의 방향을 X 축에서 반시계 방향으로 측정한 각도이고, $g=i$ 의 경우는 「0」으로 한다. 또한, (8) 식은 $|\theta(g, j) - \theta(g, i)|$ 를 π 로 나눈 경우의 나머지를 표시한다.

즉, 각 마크를 구성하는 노드 i, j 에 대해서, 목표노드 g 에서 본 노드 i 의 방향과 X 축 방향과의 각도 차와, 목표노드 g 에서 본 노드 j 의 방향과 X 축 방향과의 각도 차가 산출된다. 그래서, 양 각도 차의 차이에 기하여 설정된 계수가 코스트 B_{ij} 에 곱해져 새로운 코스트 $T_{ij}(g)$ 가 산출된다.

그래서, 아래에 기재된 코스트 $C_{ij}(g)$ ($=c$)가 탐색 그래프 데이터 메모리(12)에 기억된다.

$$C_{ij}(g) = B_{ij} + T_{ij}(g) \quad (9)$$

즉, 마크의 코스트의 합 $C_{ij}(g)$ 는 각 마크의 시점 및 종점노드이외에 목표노드를 의존하여 설정된다.

최적경로생성기(9)는 제어국으로부터의 반송지시를 받아 종래와 동일하게 출발노드와 목표노드를 구한다. 그래서, 이것과 그래프생성기(8)에 있어서 구해진 상기 그래프 G , 지도데이터 및 무인반송차 데이터에 기하여 적산코스트가 최소로 되도록 최적경로를 생성한다.

제 2도의 사다리꼴 주행로에 있어서, 목표노드가 「28」에 설정된 경우를 생각한다. 먼저, 정적그래프생성부(10)에 의해 제 7도(a)에 도시된 코스트 B_{ij} (종래 코스트)가 작성된다.

다음으로, 각도포텐셜계산부(11)에 의해 제 4도(a)에 도시된 각도포텐셜코스트 $T_{ij}\{28\}$ 가 계산된다. 여기서는, 계수 K 는 「1」로 한다.

그래서, 각 마크에 대하여 코스트 B_{ij} 와 각도포텐셜코스트 $T_{ij}\{28\}$ 가 가산되고, 코스트 $C_{ij}\{28\}$ 로서 탐색그래프데이터메모리(12)에 격납된다. 제 4도(a)에 코스트 $C_{ij}\{28\}$ 의 계산결과를 도시한다.

이에 의해, 종래의 방법에서는 「8」 가지 존재한 노드 1로부터 노드 28로의 최단경로는 「 $1 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow 20 \rightarrow 21 \rightarrow 22 \rightarrow 23 \rightarrow 24 \rightarrow 25 \rightarrow 26 \rightarrow 27 \rightarrow 28$ 」의 단 한가지로 루어진다.

또한, 제 3도의 사다리꼴 주행로에 있어서, 목표노드가 「100」으로 설정된 경우를 생각한다. 이 경우도, 상기와 동일하게 코스트 B_{ij} 및 각도포텐셜코스트 $T_{ij}\{100\}$ 가 산출되고, 양자가 가산된 코스트 $C_{ij}\{100\}$ 가 탐색그래프데이터 메모리(12)에 격납된다. 제 5도에 코스트 $C_{ij}\{100\}$ 의 산출결과를 나타낸다.

이에 의해, 종래의 방법에서는 「48620」 가지 존재한 노드 1로부터 노드 100으로의 최단경로는 「 $1 \rightarrow 11 \rightarrow 21 \rightarrow 31 \rightarrow 41 \rightarrow 51 \rightarrow 61 \rightarrow 71 \rightarrow 81 \rightarrow 91 \rightarrow 92 \rightarrow 93 \rightarrow 94 \rightarrow 95 \rightarrow 96 \rightarrow 97 \rightarrow 98 \rightarrow 99 \rightarrow 100$ 」의 단 한가지로 루인다.

그런데, 사다리꼴 주행로에서는 무인반송차는 주로 수평방향으로 이동하고, 또한 제품(work)의 적하(積下)에 이용하는 스테이션은 주행로의 상하 방향에 설치된다. 또한, 이러한 가늘고 긴 주행로에 있어서 다수의 무인반송차가 주행하는 경우, 되도록 외측을 주행시키는 편이 서로 간섭할 위험이 적다.

또한, 초승파에 의한 상하방향의 벽과의 거리를 측정하면서 주행하는 무인반송차의 경우, 목표노드의 앞에서 가능한 긴거리를 수평방향으로 이동한 편이 스테이션에 있어서의 위치결정이 확실히 된다.

상술한 실시예에 있어서 결정된 최단경로는 어느 것도 수평 또는 상하방향의 마크가 계속하는 경향이 있다. 더불어, 주행로의 외측에 연한 경로가 선택되기 쉽다. 이것도 각도포텐셜코스트를 가이한 결과이고, 따라서, 상기와 같은 작업환경에 대한 소망을 더욱 만족하는 최단경로의 결정을 가능하도록 한다.

이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면 각 노드간의 거리 또는 이동시간에 기하여 산출된 각 마크마다의 제 1의 코스트에 덧붙여 목표노드로부터 본 각 마크를 구성하는 각 노드의 방향에 기하여 제 2의 코스트가 산출되므로, 규칙적인 주행로에 대해서도 간단히 최적경로를 결정할 수 있게 된다.

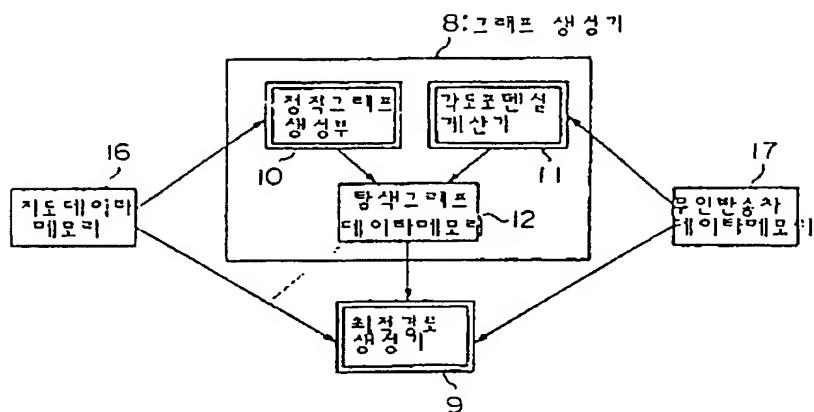
(57) 청구의 범위

청구항 1

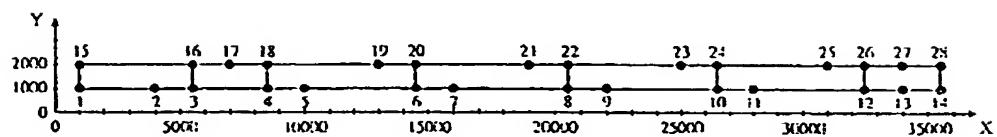
주행로상에 점재하는 복수의 노드에 대해 인접하는 주행 가능한 제 1 및 제 2의 노드를 끝은 마크의 집합에서, 상기 각 노드간의 거리 또는 이동시간에 기하여 각 마크마다 제 1의 코스트를 산출하는 코스트산출수단과, 목표노드가 지시되면 목표노드로부터 본 상기 제 1노드의 방향과 소정방향과의 각도 차와, 목표노드로부터 본 상기 제 2노드의 방향과 해당소정방향과의 각도 차를 산출하고, 양 각도 차의 차이에 기하여 각 마크마다 제 2의 코스트를 산출하는 제 2의 코스트산출수단과, 상기 제 1 및 제 2의 코스트산출수단에 의한 코스트산출결과를 상기 각 마크마다 가산하는 가산수단과, 상기 가산수단에 의해 산출된 가산코스트에 기해서 출발노드로부터 목표노드에 이르는 최적경로로서, 각 마크의 가산코스트의 적산치가 최소로 되는 경우를 선택하는 경로생성수단과를 구비하는 것을 특징으로 하는 최적경로결정장치.

도면

도면1

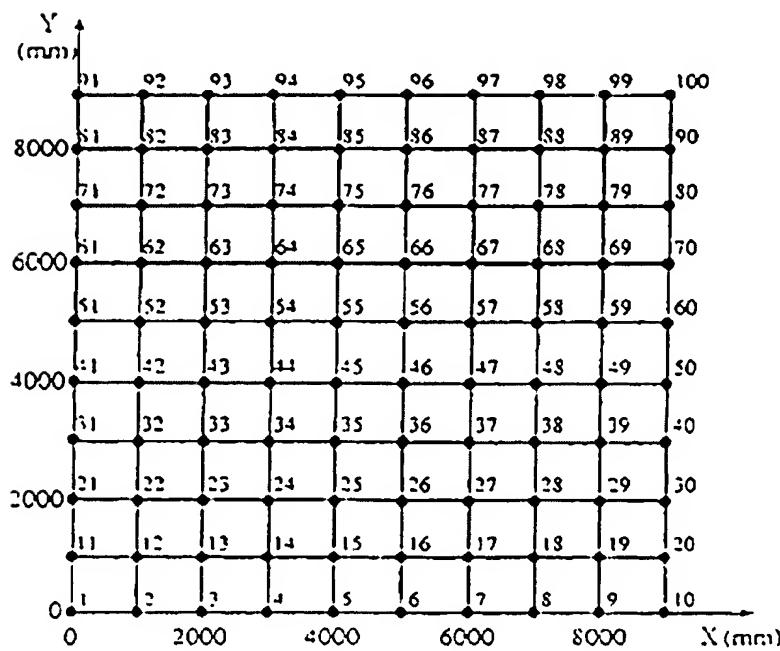


도면2



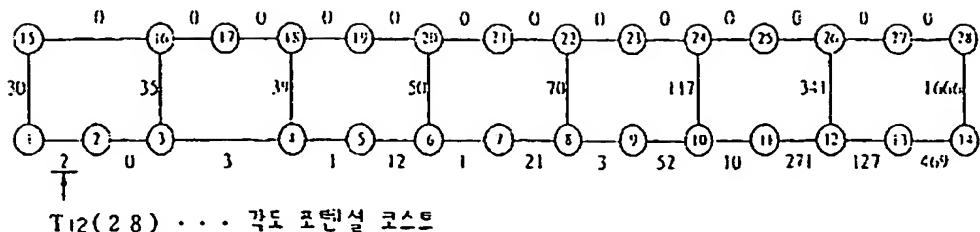
사다리꼴 주행로

도면3

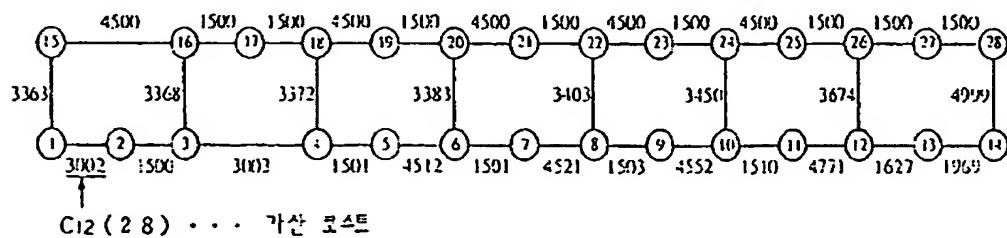


정방직 자행주행로

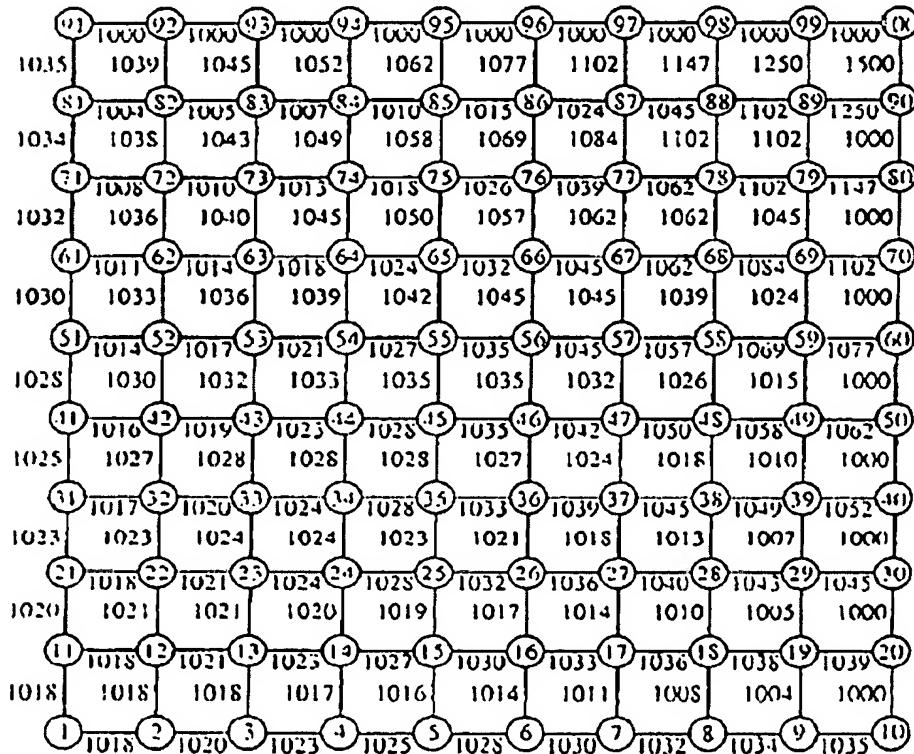
도면4a



도면4b



도면5



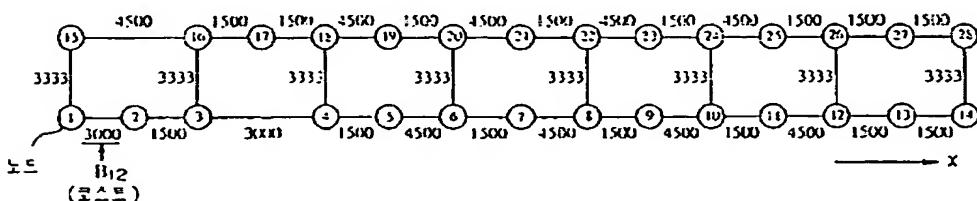
도면6a

노드데이터 (28노드)									
No	좌표 [mm]	No	좌표 [mm]	No	좌표 [mm]	No	좌표 [mm]		
1	(1000,1000)	2	(4000,1000)	3	(5500,1000)	4	(3500,1000)	5	(10000,1000)
6	(14500,1000)	7	(16000,1000)	8	(20500,1000)	9	(22000,1000)	10	(26500,1000)
11	(28000,1000)	12	(32500,1000)	13	(34000,1000)	14	(35500,1000)	15	(1000,2000)
16	(5500,2000)	17	(7000,2000)	18	(5500,2000)	19	(13000,2000)	20	(14500,2000)
21	(19000,2000)	22	(31000,2000)	23	(25000,2000)	24	(26500,2000)	25	(31000,2000)
26	(32500,2000)	27	(34000,2000)	28	(35500,2000)				

도면6b

신데이터 (34신)															
No	시	기	종	점	방	속	도	N	시	기	종	점	방	속	도
	노	드	점	는	향	도	/sec	O	노	드	점	는	향	도	/sec
1	1	2	0	1000	2	2	3	0	1000	3	3	4	0	1000	
4	4	5	0	1000	5	5	6	0	1000	6	6	7	0	1000	
7	7	8	0	1000	8	8	9	0	1000	9	9	10	0	1000	
10	10	11	0	1000	11	11	12	0	1000	12	12	13	0	1000	
13	13	14	0	1000	14	15	16	0	1000	15	16	17	0	1000	
16	17	18	0	1000	17	18	19	0	1000	18	19	20	0	1000	
19	20	21	0	1000	20	21	22	0	1000	21	22	23	0	1000	
22	23	24	0	1000	23	24	25	0	1000	24	25	26	0	1000	
25	26	27	0	1000	26	27	28	0	1000	27	1	15	0	300	
28	3	16	0	300	29	4	18	0	300	30	6	20	0	300	
31	5	22	0	300	32	10	24	0	300	33	12	26	0	300	
34	14	28	0	300											

도면7a



도면7b

No.	최단경로 (포탈 코스트)
1	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 14 → 28
2	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 26 → 27 → 28
3	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28
4	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28
5	1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 20 → 21 → 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28
6	1 → 2 → 3 → 4 → 18 → 19 → 20 → 21 → 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28
7	1 → 2 → 3 → 16 → 17 → 18 → 19 → 20 → 21 → 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28
8	1 → 15 → 16 → 17 → 18 → 19 → 20 → 21 → 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 28

도면8

노드 대수이자(28노드)									
No	좌표(m)	No	좌표(m)	No	좌표(m)	No	좌표(m)	No	좌표(m)
1	(0.0)	2	(0.1)	3	(0.2)	4	(0.3)	5	(0.4)
8	(0.7)	9	(0.8)	10	(0.9)	11	(1.0)	12	(1.1)
15	(1.4)	16	(1.5)	17	(1.6)	18	(1.7)	19	(1.8)
22	(2.1)	23	(2.2)	24	(2.3)	25	(2.4)	26	(2.5)
29	(2.8)	30	(2.9)	31	(3.0)	32	(3.1)	33	(3.2)
36	(3.5)	37	(3.6)	38	(3.7)	39	(3.8)	40	(3.9)
43	(4.2)	44	(4.3)	45	(4.4)	46	(4.5)	47	(4.6)
50	(4.9)	51	(5.0)	52	(5.1)	53	(5.2)	54	(5.3)
57	(5.6)	58	(5.7)	59	(5.8)	60	(5.9)	61	(6.0)
64	(6.3)	65	(6.4)	66	(6.5)	67	(6.6)	68	(6.7)
71	(7.0)	72	(7.1)	73	(7.2)	74	(7.3)	75	(7.4)
78	(7.7)	79	(7.8)	80	(7.9)	81	(8.0)	82	(8.1)
85	(8.4)	86	(8.5)	87	(8.6)	88	(8.7)	89	(8.8)
92	(9.1)	93	(9.2)	94	(9.3)	95	(9.4)	96	(9.5)
99	(9.8)	100	(9.9)						

도면9

